

# 数值计算模型综合展示需求

## 1、概述

### 1.1背景

随着BIM技术的日趋成熟，设计人员迫切需要一种对所设计进行精确评价和分析的工具，借助CAE软件来实现工程评价和分析是行之有效的方法。但是BIM、CAE是相互独立发展起来的，模型兼容性和数据互通都存在一定的限制。目前主流的方法是利用BIM软件高效快速地建立三维实体模型，然后通过数据接口导入到CAE系统中进行数值计算分析分析结果即时反馈给工程设计人员，指导、修改、优化设计方案。但是CAE软件中大多是基于BIM模型进行数值计算模型的重构，很多情况下BIM模型和CAE模型并不能做到完全一致。且每个CAE软件中的后处理功能有限，并不能满足设计人员的全部需求，很多情况下需要通过第三方的可视化分析软件将结果展示出来提交给设计人员参考。所以很多CAE软件都需要一种将数值计算模型 能与BIM模型直接映射的手段，能直接在BIM平台上多方位、多角度地查看数值计算模型结果，这将为工程数字化地大面积应用推广增加一个很好的价值点。

数值计算模型综合展示要实现的功能主要包括：①数值计算模型的后处理，即对计算数据或测量数据进行脱机处理，然后用图象显示出来，这是数值计算可视化最基础的功能。②数值计算结果的实时跟踪处理、显示、交互控制功能。为了实现这些功能，主要研究内容有：① 标量、矢量、张量场的显示；② 数值模拟结果的交互控制和引导；③用于图形和图象处理的向量和并行算法。

一般情况下，通用的数值计算软件的计算结果都不能够直接解析其网格数据和计算结果数据。但是可以获取一些零散的网格数据和计算结果数据，可以自己开发接口解析这些文本文件，重构数值计算模型，在工程数字化平台显示。实现整体数值计算模型的可视化以后，基于该模型(数据)实现等值线、等值面、切片等可视化分析功能。

### 1.2目的

基于同一个工程数字化平台，通过引入数值计算模型，对工程计算分析结果进行分析和展示，实现设计和仿真的一体化，帮助各方工程参与人员及早发现和快速分析工程施工技术和安全问题，为工程动态设计、规避工程风险提供可信的决策依据。

### 1.3术语和定义

数值计算模型(Numerical Modeling)：依靠电子计算机，结合有限元或有限差分、离散单元等概念，通过数值计算和图像显示的方法，解决工程问题和物理问题乃至自然界各类问题，不同的计算系统对应不同格式的计算模型。

可视化(Visualization)：利用计算机图形学和图像处理技术，将数据转换成图形或图像在屏幕上显示出来，再进行交互处理的理论、方法和技术。

建筑信息模型BIM(Building Information Modeling)：建筑学、工程学及土木工程的新工具。建筑信息模型或建筑资讯模型一词由Autodesk所创的。它是来形容那些以三维图形为主、物件导向、建筑学有关的电脑辅助设计。当初这个概念是由Jerry Laiserin把Autodesk、奔特力系统软件公司、Graphisoft所提供的技术向公众推广。

计算机辅助工程CAE(Computer Aided Engineering)：指用计算机辅助求解分析复杂工程和产品的结构力学性能，以及优化结构性能等，把工程(生产)的各个环节有机地组织起来，其关键就是将有关的信息集成，使其产生并存在于工程(产品)的整个生命周期。而CAE软件可作静态结构分析，动态分析；研究线性、非线性问题；分析结构(固体)、流体、电磁等。

### 1.4参考资料

- 刘臻熙，王国光，蒋海峰. 2015. 基于MicroStation的CAE数据接口与一体化[J]. 中国勘察设计, 0(6): 76-80.
- 葛奇鹏. 2010. 基于OSG的计算可视化仿真关键技术[D]. 武汉: 华中科技大学.
- 韩立钦，杨军义. 2015. OSG技术的矿山三维信息化系统设计[J]. 有色金属(矿山部分), 67(5): 107-109.
- 李彩林，陈文贺，胡善明，袁斌. 2019. 采用八叉树和 OSG分页结点海量点云三维可视化[J]. 计算机工程与应用, 55(21): 234-239.
- 李道中. 2007. 虚拟现实环境中有限元前后处理功能的实现[D]. 大连: 大连理工大学.
- 李思，崔晨风，张浩. 2013. 基于 OSG平台的坝区三维模拟系统设计[J]. 水资源与水工程学报, 24(5): 85-87.
- 刘欢，宋佳，左勇志，李战国，章涛. 2015. 基于有限元和虚拟现实的框架结构 倒塌场景再现技术研究[Z]: 69-72.
- 申皓. 2014. 基于OSG的多源异构油藏模型三维可视化系统研究\_申皓[D]. 大连: 学位授予单位缺失.
- 严颖. 2012. 基于OSG的三维参数桥梁可视化研究[实现][D]. 西安: 西安理工大学.

## 2、系统目标

### 2.1系统定位

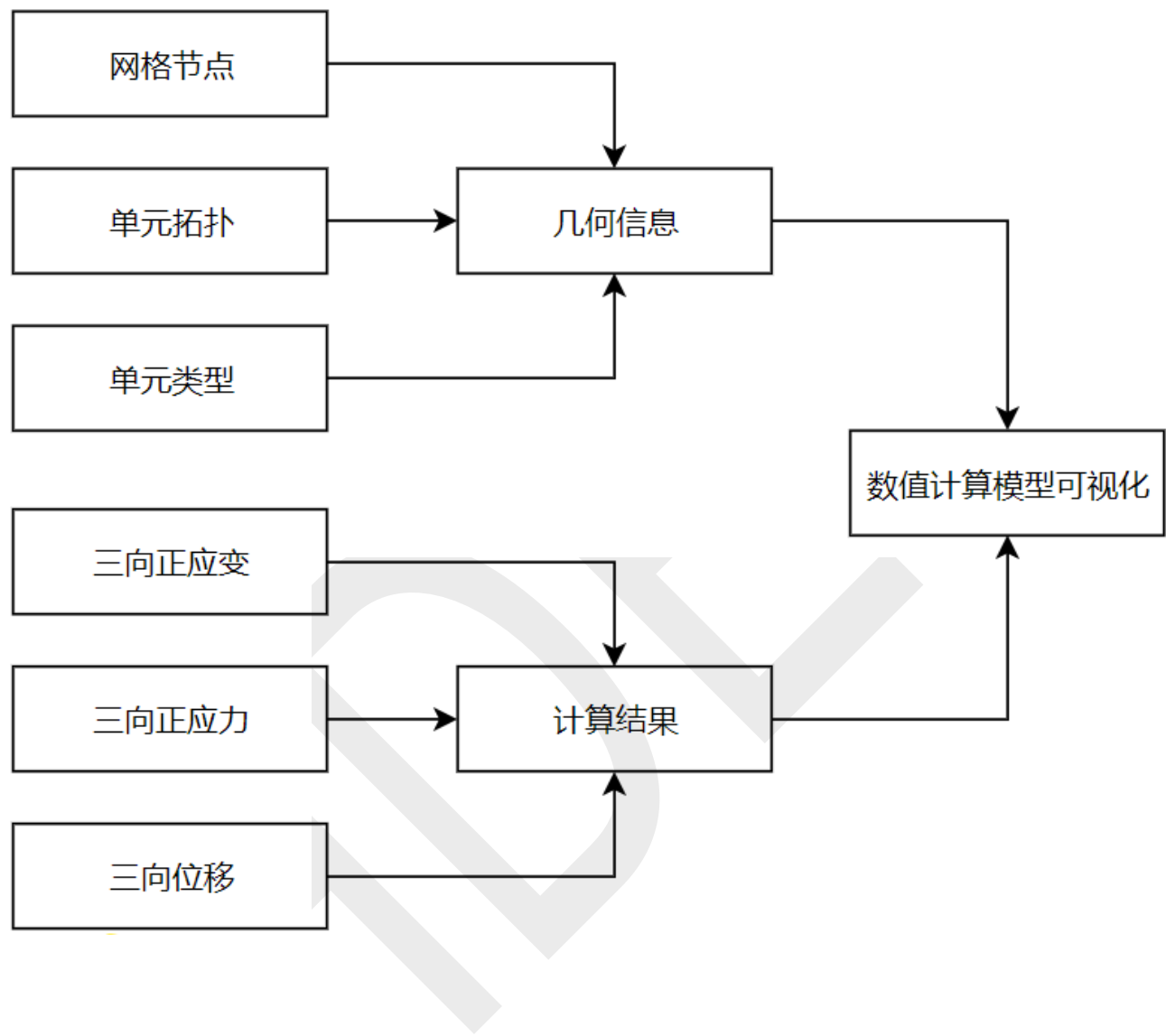
对工程计算分析结果进行分析和展示，实现设计和仿真的一体化

2. 2业务目标

帮助各方工程参与人员及早发现和快速分析工程施工技术和安全问题，为工程动态设计、规避工程风险提供可信的决策依据。

3、业务流程

3. 1[数值计算模型解析]流程



说明：数值计算模型的文件一般不能直接解析，但是可以获取到所需的文本形式的数据，比如网格节点数据、单元拓扑数据、单元类型数据等，依据这些几何信息可以完全还原出计算模型的几何信息，依据各种分析结果（三向应力应变）的文本文件能关联具体的计算结果信息；再采用特定的可视化技术映射网格数据和分析结果数据。

3. 2[数值计算模型可视化分析]流程



## 4、功能性需求

### 4.1[导入数值计算模型]

〈功能名称〉导入数值计算模型

使用者：工程技术人员

目的：解析CAE软件的计算模型

基本事件流：

①解析一个或者多个数值计算模型的几何信息和计算结果信息，存储在一个统一的数据库文件中；

②用户点击导入数值计算模型；

③若能成功解析数值计算模型数据，则显示计算结果的可视化模型，提示解析成功；若未能成功解析数值计算模型数据，则给出失败提示，提醒用户检查特定位置的数据

## 4.2[网格节点显示模型]

〈功能名称〉网格节点显示模型

使用者：工程技术人员

目的：以网格节点的显示样式显示计算模型

基本事件流：

- ①点击绘图中的显示样式，输入网格节点显示；
- ②将数值计算模型以网格节点的形式显示出来；

## 4.3[单元显示模型]

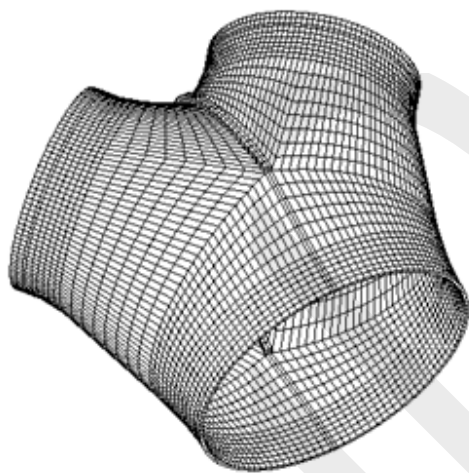
〈功能名称〉单元显示模型

使用者：工程技术人员

目的：以单元的显示样式显示计算模型

基本事件流：

- ①点击绘图中的显示样式，输入单元显示；
- ②将数值计算模型以单元的形式显示出来；



示意图：

## 4.4[光滑显示模型]

〈功能名称〉光滑显示模型

使用者：工程技术人员

目的：以光滑显示样式显示计算模型

基本事件流：

- ①点击绘图中的显示样式，输入光滑显示；
- ②将数值计算模型以光滑的形式显示出来；

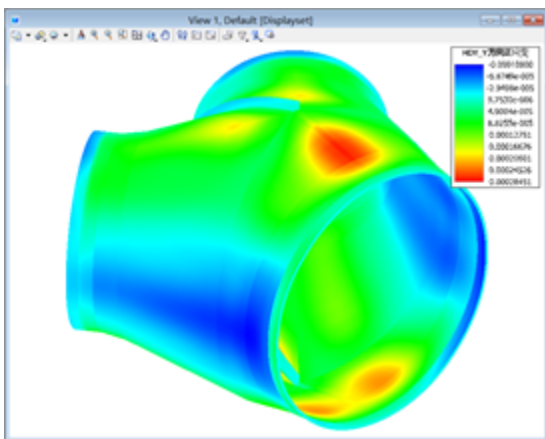


示意图:

## 4.5[等值线显示]

<功能名称>等值线显示

使用者: 工程技术人员

目的: 计算数值计算模型的特定计算结果的三维等值线

基本事件流:

- ①点击绘图中的等值线;
- ②将数值计算模型的等值线显示出来;

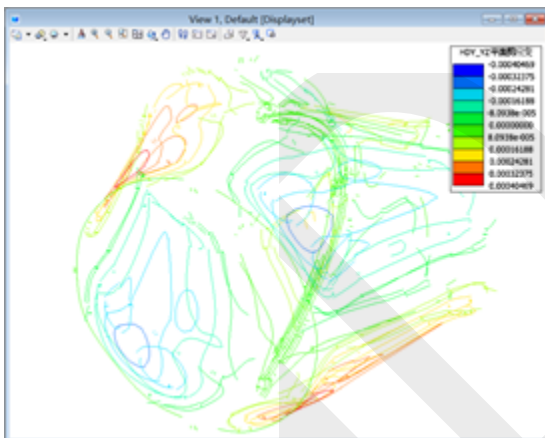


示意图:

## 4.6[等值面显示]

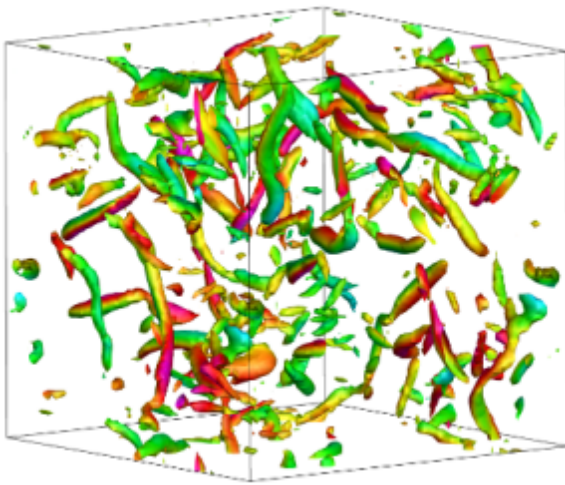
<功能名称>等值面显示

使用者: 工程技术人员

目的: 计算数值计算模型的特定计算结果的三维等值面

基本事件流:

- ①点击绘图中的等值面;
- ②将数值计算模型的等值面显示出来;



示意图：

#### 4. 7[动态剖切面显示]

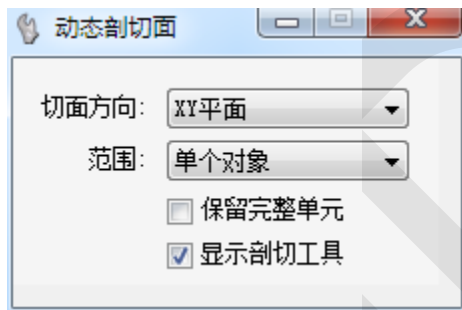
<功能名称>动态剖切面显示

使用者：工程技术人员

目的：利用有限元对象剖切面工具能够生成动态剖切面，显示剖切面的信息，可以查看内部的网格单元和分析结果云图分布。

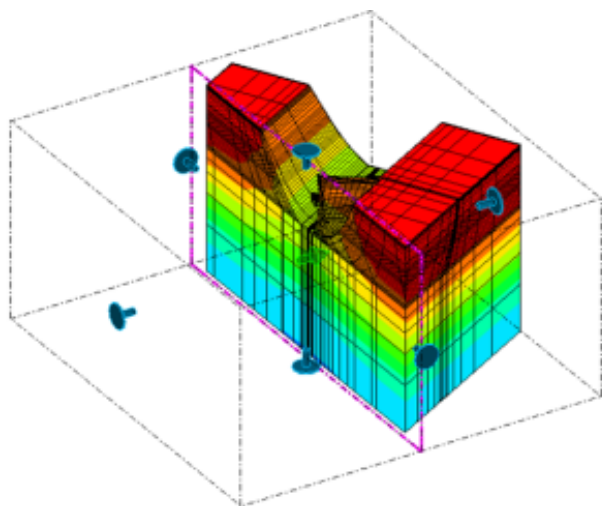
基本事件流：

①单击动态剖切面菜单，参数设置窗口如下图所示；



【切面方向】可以选择XY平面、XZ平面、YZ平面或自定义方向；【范围】可以设置对单个对象或整个视图的对象范围；【保留完整单元】设置剖面是否显示完整的单元；【显示剖切工具】控制剖切工具的显/隐状态。

②设置完成后，单击视图，启动剖切工具。根据软件提示拖动剖切工具的箭头，可以移动剖面位置，方便动态查看内部信息。



## 4.8[切面]

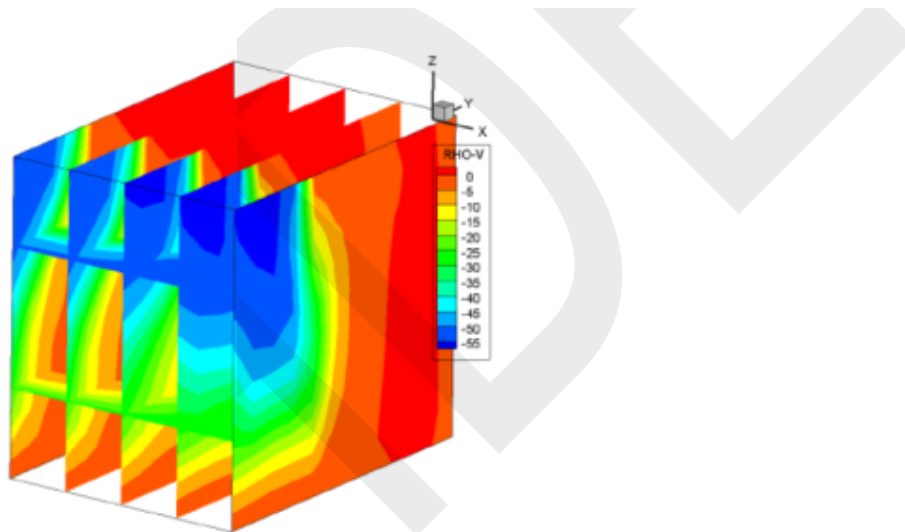
<功能名称>切面显示

使用者：工程技术人员

目的：任意位置的平二维面剖切。

基本事件流：

- ①单击切面菜单，剖切面的参数设置，可以设置多个切面；
- ②设置插值网格间距，显示不同效果的云图



示意图：

## 4.9[对象选择]

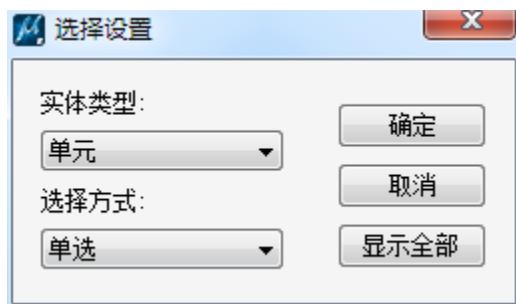
<功能名称>对象选择

使用者：工程技术人员

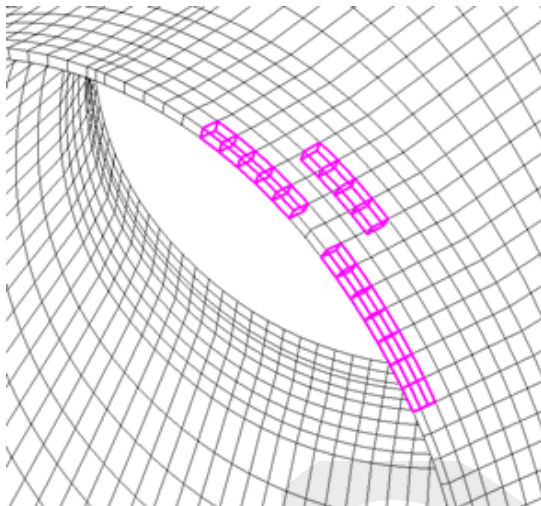
目的：对象选择工具能够对有限元网格的要素进行手动选择，包括网格节点、网格面片和网格单元。

基本事件流：

- ①设置为节点、面片、或者单元选择，设置为单选，用选择工具选中数值对象后，单击确定按钮，启动单选工具；



②用户选择后，高亮显示选择的节点、面片、或者单元。



示意图：

## 4.9[数据导出]

<功能名称>数据导出

使用者：工程技术人员

目的：数据导出工具能够直接输出有限元对象的节点和单元数据。节点数据包括节点的索引、坐标值（X/Y/Z）；单元数据包括单元的索引和组成单元的节点索引（拓扑结构）。

基本事件流：

- ①启动数据导出工具，设置导出选项；
- ②导出节点信息或者单元信息。

NODE	X	Y	Z
1	-2.3822	-0.0600	-2.8906
2	-2.5268	-0.0600	-2.8452
3	-2.5923	-0.0600	-2.7780
4	-2.5079	-0.0600	-2.7959
5	-2.3822	0.0000	-2.8906
6	-2.5268	0.0000	-2.8452
7	-2.5923	0.0000	-2.7780
8	-2.5079	0.0000	-2.7959
9	-2.6706	-0.0600	-2.7973
10	-2.7032	-0.0600	-2.7410
11	-2.6706	0.0000	-2.7973
12	-2.7032	0.0000	-2.7410
13	-2.6286	-0.0600	-2.7313
14	-2.5666	-0.0600	-2.7526
15	-2.6286	0.0000	-2.7313



ELEMENTS LIST								
ELEM	NODES							
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	9	10	3	6	11	12	7
3	4	3	13	14	8	7	15	16
4	1	4	17	18	5	8	19	20
5	9	21	22	10	11	23	24	12
6	3	10	25	13	7	12	26	15
7	14	13	27	28	16	15	29	30
8	4	14	28	17	8	16	30	19
9	18	17	31	32	20	19	33	34
10	21	35	36	22	23	37	38	24
11	10	22	39	25	12	24	40	26
12	13	25	41	27	15	26	42	29
13	28	27	43	44	30	29	45	46
14	17	28	44	31	19	30	46	33
15	31	47	48	32	33	49	50	34

## 5、测试案例

现提供岩土计算软件FLAC3D的计算模型测试用例，测试用例导出的可以使用的数据包括网格数据和计算结果数据。其中网格数据以文本形式保存在\*.f3grid文件中，计算结果数据也保存在文本文件中，包括位移数据（与节点对应）和应力应变数据（与单元对应）。数据文件如下所示。



数据解析指导：

(1) model001.f3grid文件

该文件是FLAC3D导出来的模型网格数据，包含了重构几何模型所有的数据。

其中 “ \* GRIDPOINTS ” 表示节点字段，下方数据行中G开头的的数据表示节点索引以及坐标信息；

* FLAC3D grid produced by FLAC3D 7.00 Release 126				
* 周二 1月 26 16:20:18 2021				
* GRIDPOINTS				
G	1	4.40000000000000e+01	0.00000000000000e+00	2.50000000000000e+00
G	2	4.40000000000000e+01	0.00000000000000e+00	2.75000000000000e+00
G	3	4.40000000000000e+01	1.00000000000000e+00	2.50000000000000e+00
G	4	3.26666666666667e+01	0.00000000000000e+00	2.50000000000000e+00
G	5	4.40000000000000e+01	1.00000000000000e+00	2.75000000000000e+00
G	6	3.26666666666667e+01	1.00000000000000e+00	2.50000000000000e+00
G	7	3.26666666666667e+01	0.00000000000000e+00	2.75000000000000e+00
G	8	3.26666666666667e+01	1.00000000000000e+00	2.75000000000000e+00
G	9	4.40000000000000e+01	0.00000000000000e+00	3.00000000000000e+00
G	10	4.40000000000000e+01	1.00000000000000e+00	3.00000000000000e+00
G	11	3.26666666666667e+01	0.00000000000000e+00	3.00000000000000e+00

其中“\* ZONES ”表示单元字段，下方数据行中Z开头的数据表示单元类型以及单元对应的节点索引。节点索引也是有序组织起来的。可以根据需要，依据这个索引自定义组织成对应的面信息。

```
18620 * ZONES
18621 Z B8 1 1 2 3 4 5 6 7 8
18622 Z B8 2 2 9 5 7 10 8 11 12
18623 Z B8 3 9 13 10 11 14 12 15 16
18624 Z B8 4 13 17 14 15 18 16 19 20
18625 Z B8 5 3 5 21 6 22 23 8 24
18626 Z B8 6 5 10 22 8 25 24 12 26
18627 Z B8 7 10 14 25 12 27 26 16 28
18628 Z B8 8 14 18 27 16 29 28 20 30
18629 Z B8 9 21 22 31 23 32 33 24 34
18630 Z B8 10 22 25 32 24 35 34 26 36
18631 Z B8 11 25 27 35 26 37 36 28 38
18632 Z B8 12 27 29 37 28 39 38 30 40
18633 Z B8 13 31 32 41 33 42 43 34 44
18634 Z B8 14 32 35 42 34 45 44 36 46
18635 Z B8 15 35 37 45 36 47 46 38 48
18636 Z B8 16 37 39 47 38 49 48 40 50
18637 Z B8 17 41 42 51 43 52 53 44 54
18638 Z B8 18 42 45 52 44 55 54 46 56
18639 Z B8 19 45 47 55 46 57 56 48 58
```

## (2) gridpoint\_result.txt文件

本文件存储的是节点的三向(XYZ)位移数据，第一列是节点索引，与model001.f3grid节点索引对应；后面散列分别是三向位移数值。

```
1 gridpoin_ID XDisplacement(m) YDisplacement(m) ZDisplacement(m)
2 1 0 0 -0.000474395
3 2 0 0 -0.000498069
4 3 0 -1.80835e-05 -0.000473939
5 4 -0.000356192 0 -0.000627674
6 5 0 -1.80037e-05 -0.000497607
7 6 -0.000355494 -2.08205e-05 -0.000626856
8 7 -0.000337697 0 -0.000644886
9 8 -0.000337099 -2.0671e-05 -0.000644081
0 9 0 0 -0.000517487
1 10 0 -1.88005e-05 -0.000517023
2 11 -0.000334117 0 -0.000657648
3 12 -0.000333555 -2.15608e-05 -0.000656862
4 13 0 0 -0.000533605
5 14 0 -2.05548e-05 -0.000533112
6 15 -0.000349001 0 -0.000667303
7 16 -0.000348416 -2.35955e-05 -0.000666509
8 17 0 0 -0.000546472
9 18 0 -2.33951e-05 -0.000546017
```

## (3) zone\_result.txt文件

本文件存储的是节点的应力数据，第一列单元索引，后续列为第一主应力，第二主应力，第三主应力，X方向主应力，Y方向主应力，Z方向主应力，塑性区状态。其中塑性区状态数值为0表示未进入塑性区，为1表示进入塑性区。可视化过程中塑性区的显示，可以根据状态值分别隐藏显示进入塑性区的单元和未进入塑性区的单元。其他值可视化可以以云图的形式表示

	zone_ID	Sig1 (MPa)	Sig2 (MPa)	Sig3 (MPa)	_Sxx (MPa)	_Syy (MPa)	_Szz (MPa)	_State
1	1	-96833.8	-191221	-192744	-191285	-96833.8	-192680	0
2	2	-69331.5	-136261	-137645	-136304	-69331.5	-137602	0
3	3	-41865	-81249.6	-82560.6	-81270.3	-41865	-82539.8	0
4	4	-14438	-26169.2	-27501.5	-26174.4	-14438	-27496.2	0
5	5	-96828.7	-191225	-192743	-191288	-96828.7	-192680	0
6	6	-69326.6	-136265	-137644	-136307	-69326.6	-137602	0
7	7	-41859.8	-81252.7	-82560.2	-81273.3	-41859.8	-82539.5	0
8	8	-14431.9	-26172.5	-27501.5	-26177.7	-14431.9	-27496.3	0
9	9	-96818.5	-191234	-192741	-191296	-96818.6	-192679	0
10	10	-69316.6	-136271	-137643	-136313	-69316.6	-137601	0
11	11	-41849.2	-81259	-82559.5	-81279.2	-41849.2	-82539.2	0
12	12	-14419.6	-26179	-27501.6	-26184.1	-14419.8	-27496.5	0
13	13	-96803.6	-191246	-192739	-191306	-96803.7	-192678	0
14	14	-69301.4	-136281	-137641	-136323	-69301.5	-137600	0
15	15	-41833.1	-81268.1	-82558.5	-81287.9	-41833.2	-82538.7	0

## 6、其他

需求未说明处，以实际沟通为宜

